

18. 10. 2004

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 26 OCT 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 28 294.7

Anmeldetag: 23. Juni 2003

Anmelder/Inhaber: Endress + Hauser Flowtec AG,
Reinach, Basel-Landschaft/CH

Bezeichnung: Verfahren zum Kalibrieren eines Ultraschall-
Durchflussmessgeräts

IPC: G 01 F 1/66

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 07. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Remus

Verfahren zum Kalibrieren eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts. Das Ultraschall-Durchflußmeßgerät weist zumindest ein Meßrohr, zumindest zwei Ultraschallsensoren und eine Regel-/Auswerteeinheit auf, wobei die Ultraschallsensoren Ultraschall-Meßsignale aussenden und/oder empfangen, und wobei der Durchfluß eines Mediums in dem Meßrohr anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignalen ermittelt wird, die das Meßrohr in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung queren.

Aufgrund von Toleranzen bei der Fertigung müssen Durchflußmeßgeräte, insbesondere Ultraschall-Durchflußmeßgeräte vor der Inbetriebnahme kalibriert werden. Bekannte Kalibrierverfahren für Ultraschall-Durchflußmeßgeräte basieren auf einer sog. Naßkalibration, d.h. zwecks Bestimmung des Kalibrierfaktors des jeweiligen Durchflußmeßgeräts durchströmt eine hochgenau definierte Menge eines Mediums das zu kalibrierende Meßgerät. Je nach Durchmesser des Meßrohres des Durchflußmeßgeräts müssen zur Naßkalibration relativ große Mengen an Medium bereitgestellt werden. So besitzt die Anmelderin eine Kalibrieranlage in Cernay in Frankreich, bei der das Medium, das für die Kalibrierung benötigt wird, in einem 20 m hohen Wasserturm gespeichert ist. Über einen Revolver werden die zu kalibrierenden Meßrohre in Position gebracht und von dem Medium durchströmt. Kalibriert werden können mit dieser Anlage Meßrohre bis zu einem Durchmesser von 2000 mm.

Abgesehen von den hohen Kosten für den Aufbau einer derartigen Kalibrieranlage stellt sich ein weiteres Problem, wenn die Fertigung der Durchflußmeßgeräte an weit verstreuten Produktionsstätten erfolgt. Um lange Transportwege und damit lange Lieferzeiten zu vermeiden, muß eine Kalibrieranlage in der Nähe der jeweiligen Fertigungsstätte installiert sein.

Große Probleme bereitet auch die Nachkalibrierung von bereits beim Kunden installierten Durchflußmeßgeräten: Diese müssen ausgebaut, in der Kalibrieranlage nachkalibriert und wieder eingebaut werden.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur theoretischen bzw. zur Trockenkalibrierung von Durchflußmeßgeräten vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, das die folgenden Verfahrensschritte umfaßt:

10

- anhand der vorgegebenen geometrischen Fertigungsdaten des Durchflußmeßgeräts wird Information über den theoretischen Durchfluß des Mediums durch das Meßrohr gewonnen;
- die tatsächlichen geometrischen Meßdaten des Durchflußmeßgeräts werden dreidimensional ermittelt;
- anhand der tatsächlichen geometrischen Meßdaten wird Information über den tatsächlichen Durchfluß des Mediums durch das Durchflußmeßgerät gewonnen;
- anhand der Information hinsichtlich des theoretischen Durchflusses und des tatsächlichen Durchflusses des Mediums durch das Durchflußmeßgerät wird ein Korrekturfaktor bzw. ein Kalibrierfaktor M für das Durchflußmeßgerät ermittelt.

15

20

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die tatsächlichen geometrischen Meßdaten durch eine dreidimensionale Abtastung des Durchflußmeßgeräts ermittelt werden. Beispielsweise erfolgt die Abtastung des Durchflußmeßgeräts mittels elektromagnetischer Wellen oder mittels eines mechanischen Abtastkopfes. Entsprechende Abtastgeräte werden von der Firma Faro Technologies, Inc. Angeboten und vertrieben.

25

30

Eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens schlägt vor, daß das Durchflußmeßgerät bzw. das Meßrohr durch ein mathematisches Modell nachgebildet wird. Insbesondere wird durch das Modell der 'mittlere' Innenquerschnitt des Meßrohres mit hoher Präzision ermittelt.

5

Um eine hohe Genauigkeit zu erzielen, werden in dem mathematischen Modell zusätzlich die nachfolgend genannten Größen ggf. in unterschiedlichen Kombinationen berücksichtigt:

10

- a) der Einstrahl- bzw. der Ausstrahlwinkel $W1$; $W2$ zwischen Ultraschallsensor und dem Medium;
- b) der Abstand $S1$; $S2$ zwischen zwei Schallaustritts- bzw. zwei Schalleintritts-Flächen der Ultraschallsensoren, die wechselweise senden und empfangen;

15

- c) der radiale Abstand H ; F des Schallpfades der Ultraschall-Meßsignals von zwei Ultraschallsensoren zur Mittelachse des Meßrohres;
- d) die Position der Sende- und Empfangsflächen der Ultraschallsensoren zum strömenden Medium oder zur Innenwand des Meßrohres;
- e) die Querschnittsfläche A des zwischen den zwei Ultraschallsensoren liegenden und vom Medium durchströmten Abschnitts des Meßrohres.

20

Eine bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die tatsächliche, mittlere Querschnittsfläche des Meßrohres dadurch ermittelt wird, daß die dreidimensionalen Koordinaten von mehreren in zumindest zwei parallelen und quer zur Strömungsrichtung des Mediums liegenden Querschnittsebenen des Meßrohres liegenden Abtastpunkten ausgemessen werden. Weiterhin ist vorgesehen, daß die dreidimensionalen Koordinaten der Schallaustritts- bzw. Schalleintritts-Flächen der Ultraschallsensoren ermittelt werden.

25

30

Darüber hinaus schlägt eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungs-
gemäßen Verfahrens vor, daß zwecks Bestimmung der dreidimensionalen
Koordinaten der Mittelpunkte der entsprechenden Schallaustritts- bzw.
Schalleintritts-Fläche anstelle eines Ultraschallsensors ein Einrichtsensor
5 verwendet wird. Anstelle des Ultraschallwandlers, bei dem es sich z.B. um ein
piezoelektrisches Element handelt, hat der Einrichtsensor eine besonders
ausgestaltete Einheit, die den Ultraschallwandler quasi simuliert. Erfolgt die
dreidimensionale Abtastung auf mechanischem Wege, so weist der Einricht-
sensor ein kegelförmiges Element mit einer definierten Form auf. Insbe-
sondere ist dieses kegelförmige Element so ausgebildet, daß der Mittelpunkt
10 einer Kugel, die dem Abtastkopf des dreidimensionalen Abtastgeräts
entspricht, beim Berühren des Kegels im Mittelpunkt der Schallaustritts- bzw.
der Schalleintritts-Fläche des entsprechenden Ultraschallsensors liegt.

15 Erfolgt die dreidimensionale Abtastung auf elektromagnetischem, insbe-
sondere optischem Weg, so weist der Einrichtsensor einen entsprechend
ausgestalteten Reflektor, z.B. ein Katzenauge oder eine Würfecke mit drei
senkrechten Flächen auf. Als tatsächlicher Meßwert, der die exakte Position
des Ultraschallsensors repräsentiert, werden die Koordinaten der Position
20 gespeichert, an der die von dem Reflektor reflektierte Strahlung maximal ist.

Anhand des Schallaustritts- und Schalleintrittswinkels sowie anhand des durch
die dreidimensionale Abtastung ermittelten tatsächlichen, mittleren Innen-
durchmessers des Meßrohres läßt sich der Schallpfad und damit die Laufzeit
25 der Ultraschall-Meßsignale zwischen zwei Ultraschallsensoren sehr genau
ermitteln. Um den Meßfehler, der durch die Anwendung des Modells entsteht
noch zu reduzieren, empfiehlt es sich, weitere Störgrößen zu berücksichtigen.

Bei Ultraschall-Durchflußmeßgeräten wird der Durchfluß des Mediums durch
30 ein Meßrohr mittels einer Time-of-Flight-Messung durchgeführt. Hierzu
werden zwischen den beiden Ultraschallsensoren die Laufzeiten $t_{up}(0)$ und

$t_{\text{down}}(0)$ in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung gemessen.

5 Diese Zeiten sind jedoch noch mit zusätzlichen Verzögerungszeiten t_v behaftet, welche durch die Ultraschallsensoren, die Kabel und die Elektronik verursacht werden. Von den anhand der dreidimensionalen Abtastung ermittelten Laufzeiten müssen diese Verzögerungszeiten subtrahiert werden. Damit erhält man für die Laufzeit im Medium folgende Werte:

$$t_{\text{down}}(1) = t_{\text{down}}(0) - t_v$$

$$t_{\text{up}}(1) = t_{\text{up}}(0) - t_v$$

10

Durch die dreidimensionale Abtastung der Schallaustritts- und Schalleintrittsflächen und unter Kenntnis der Verzögerungszeit läßt sich die Laufzeit, die die Ultraschall-Meßsignale auf dem Schallpfad S zwischen zwei Ultraschallsensoren benötigen, sehr genau bestimmen. Anhand eines Vergleichs der

15 theoretischen Laufzeit und der tatsächlich gemessenen Laufzeit, läßt sich nachfolgend die Schallgeschwindigkeit c_{Medium} des Mediums gemäß der nachfolgend genannten Formel ermitteln. In dieser Formel repräsentiert $F(v)$ einen geschwindigkeitsabhängigen Term, der vom Verhältnis der Mediums-

20 geschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit abhängt

$$c_{\text{Medium}} = \frac{S}{2} \left(\frac{1}{t_{\text{up}}(1)} + \frac{1}{t_{\text{down}}(1)} \right) * F(v)$$

$F(v)$ ist für $v = 0$ gleich 1 bzw. für $v \ll c_{\text{Medium}}$ ist $F(v)$ näherungsweise gleich 1.

25

Weiterhin wird in dem Modell der Abstand $R/2$ zwischen der Schallaustritts- bzw. Schalleintrittsfläche eines Ultraschallsensors und der Innenfläche des Meßrohres berücksichtigt. Es wird angenommen, daß in diesen beiden

Bereichen eines jeden Schallpfades die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums zumindest näherungsweise gleich Null ist. Die korrigierten Zeiten t_{up} und t_{down} ergeben sich anhand der nachfolgend genannten Formel:

5

$$t_{up} = t_{up}(1) - \frac{R}{c_{Medium}}$$

10

Das Strömungsprofil, das die radiale Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit eines Mediums in einem Meßrohr wiedergibt, sieht sehr unterschiedlich aus, je nachdem ob es sich um eine laminare oder um eine turbulente Strömung handelt. Ist der radiale Abstand eines Paares von Ultraschallsensoren durch die dreidimensionale Abtastung genau bekannt, so läßt sich mit Kenntnis der Reynoldszahl ein Profil-Korrekturfaktor K errechnen, mit dem die gemessene Geschwindigkeit v im Verhältnis zur mittleren Geschwindigkeit v_M des Medium steht.

15

$$v = v_M * K$$

20

Der theoretische Durchfluß errechnet sich wie folgt - beispielsweise für den Schallweg 1 – wobei L1 die Länge des Schallpfades, K1 den Profilkorrekturfaktor des Schallpfades 1, W1 den Winkel zur Rohrachse, $t1_{up}$ und $t1_{down}$ die Laufzeiten des Ultraschall-Meßsignale für den Schallpfad 1 und A die Querschnittsfläche des Meßrohres repräsentiert:

$$Q_1 = \frac{L1}{2 * \cos(W1)} * A * K1 * \left(\frac{1}{t1_{down}} - \frac{1}{t1_{up}} \right)$$

25

Die Messung wird noch genauer, wenn mehrere Schallpfade in unterschiedlichen Abständen von der Mittelachse des Meßrohres vorhanden sind. Je nach Abstand der Ultraschallsensoren zur Mittelachse des Meßrohres werden

die Laufzeiten mit w_i entsprechend der nachfolgend genannten Formel gewichtet:

$$Q_{\text{errechnet}} = \sum_n w_i * Q_i$$

5 Über das Verhältnis der einzelnen Geschwindigkeiten bei verschiedenen Abständen der Schallwege von der Rohrmitte läßt sich das Geschwindigkeitsprofil des Mediums ermitteln. Mithilfe dieser Meßwerte kann der Durchfluß nochmals in dem kritischen Geschwindigkeitsbereich zwischen reiner laminarer Strömung und turbulenter Strömung besser erfaßt auch korrigiert werden. In dem mathematischen Modell werden die durch die drei-
10 dimensionale Abtastung gewonnenen Meßwerte verwendet. Diese weichen üblicherweise von den vorgegebenen Fertigungs-Meßdaten ab. Der ermittelte Korrekturfaktor M beschreibt dann das Maß für die Abweichung bzw. den individuellen Kalibrierfaktor des Ultraschall-Durchflußmeßgeräts. Dieser
15 Kalibrierfaktor wird in dem Ultraschall-Durchflußmeßgerät gespeichert und geht nachfolgend in die Bestimmung des Durchflusses ein.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

20

Fig. 1: eine perspektivische Ansicht eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts;

25

Fig. 2: einen Querschnitt durch das in Fig. 1 gezeigte Ultraschall-Durchfluß-meßgerät;

Fig. 3: einen Längsschnitt gemäß der Kennzeichnung A-A in Fig. 2;

30

Fig. 4: einen Schnitt gemäß der Kennzeichnung B-B in Fig. 3; und

Fig. 5: eine Seitenansicht des erfindungsgemäßen
Einrichtensors.

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Ultraschall-Durchfluß-
meßgeräts 1 mit zwei Schallpfaden bzw. zwei Meßkanälen. Die beiden Paare
von Ultraschallsensoren 3, 4; 5, 6 sind vorzugsweise auf Positionen von ca.
50% des Radius des Meßrohres 2 angeordnet. Bei einer Zweistrahlanordnung
von Ultraschallsensoren 3, 4; 5, 6 ist diese Positionierung von Vorteil, da hier
eine relativ große Unabhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit von der
Reynoldszahl bzw. von der Viskosität des Mediums vorliegt.

In Fig. 2 ist ein Querschnitt durch das in Fig. 1 gezeigte Ultraschall-Durchfluß-
meßgerät 1. Fig. 3 zeigt einen Längsschnitt gemäß der Kennzeichnung A-A in
Fig. 2. Wie bereits an vorhergehender Stelle beschrieben, wird der mittlere
Innenzylinder des Meßrohres 2 dadurch ermittelt, daß die dreidimensionalen
Koordinaten von Meßpunkte in zwei Ebenen 9, 10 durch das Abtastgerät
ermittelt werden. Die mit einem Kreis versehenen Zahlen 1 bis 8 kenn-
zeichnen die dreidimensional abgetasteten Meßpunkte, die zur Ermittlung des
Innendurchmessers D_i in den beiden Ebenen: Ebene up 9 und Ebene down
10 herangezogen werden. Es versteht sich von selbst, daß die Bestimmung
des Innendurchmessers D_i in den beiden Ebenen 9, 10 um so genauer wird,
je mehr Meßpunkte aufgenommen werden. Im gezeigten Fall sind die Ebenen
9, 10 durch die Durchstoßpunkte der Ultraschallsensoren 3, 4; 5, 6 definiert.

Die mit Kreis versehenen Zahlen 10, 11, 20, 21 dienen zur Ermittlung des
Schallpfades bzw. der Spur 1 bzw. der Spur 2. Insbesondere wird anhand
dieser Werte der radiale Abstand H bzw. F des Schallpfades der Ultraschall-
Meßsignals von zwei Ultraschallsensoren 3, 4; 5, 6 zur Mittelachse 17 des
Meßrohres 2 ermittelt. Ist der Abstand H bzw. F bekannt, so läßt sich auch der
Einstrahl- bzw. Abstrahlwinkel W_1, W_2 der Ultraschallsensoren 3, 4; 5, 6
berechnen.

5 Durch die dreidimensionale Abtastung ist es darüber hinaus möglich, auch die Dichtleiste der Flansche 7, 8 hochgenau zu vermessen. Zur Bestimmung der Dichtleiste der Flansche 7, 8 dienen die in Fig. 3 eingezeichneten Meßpunkte, die durch die Zahlen 30 ... 33 und 40 ... 43 im Kreis gekennzeichnet sind.

10 Fig. 4 zeigt einen Schnitt gemäß der Kennzeichnung B-B in Fig. 3. Insbesondere ist in Fig. 4 die Montage eines Einrichtsensors 13, 15 in dem entsprechenden Sensorstutzen 11, 12 dargestellt. Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht des erfindungsgemäßen Einrichtsensors 13, 15. Teilweise ist der in Fig. 5 gezeigte Einrichtsensor 13; 15 im Schnitt dargestellt. Der erfindungsgemäße Einrichtsensor 13, 15 ist analog zu einem in dem Durchflußmeßgerät 1 verwendbaren Ultraschallsensor 3, 4, 5, 6 dimensioniert und kann daher problemlos in dem Sensorstutzen 11, 12 montiert werden. Bei dem Einricht-
15 sensor 13, 15, der für die Positionsbestimmung mittels eines mechanisch arbeitenden Abtastgeräts ausgelegt ist, ist anstelle des üblicherweise piezoelektrischen Ultraschallwandlers ein kegelförmiges Element 14 vorgesehen. Das kegelförmige Element 14 ist so dimensioniert, daß der Mittelpunkt einer Kugel 16 mit definiertem Durchmesser, die als Platzhalter für den Abtastkopf des mechanischen Abtastgeräts dient, beim Berühren des kegelförmigen Elements 14 im Mittelpunkt der Schallaustritts- bzw. der Schalleintritts-Fläche des entsprechenden Ultraschallsensors 3, 4, 5, 6 liegt. Hierdurch läßt sich die
20 Position des Ultraschallsensors 3, 4, 5, 6 mit hoher Genauigkeit bestimmen.

25 Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens und insbesondere unter Verwendung des erfindungsgemäßen Einrichtsensors 13; 15 läßt sich eine Trockenkalibrierung des Durchflußmeßgeräts 1 schnell und einfach durchführen. Insbesondere wird es möglich, die Kalibrierung oder Nachkalibrierung vor Ort beim Kunden vorzunehmen.

Bezugszeichenliste

	1	Ultraschall-Durchflußmeßgerät
	2	Meßrohr
5	3	Ultraschallsensor
	4	Ultraschallsensor
	5	Ultraschallsensor
	6	Ultraschallsensor
	7	Flansch
10	8	Flansch
	9	Ebene up
	10	Ebene down
	11	Sensorstutzen
	12	Sensorstutzen
15	13	Einrichtsensor
	14	Kegel
	15	Einrichtsensor
	16	Kugel
	17	Mittelachse

20

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts (1),
welches ein Meßrohr (2), zumindest zwei Ultraschallsensoren (3, 4; 5, 6) und
5 eine Regel-/Auswerteeinheit (17) aufweist, wobei die Ultraschallsensoren (3,4;
5, 6) Ultraschall-Meßsignale aussenden und/oder empfangen, wobei der
Durchfluß eines Mediums in dem Meßrohr (2) anhand der Laufzeiten der
Ultraschall-Meßsignalen ermittelt wird, die das Meßrohr (2) in Strömungs-
richtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) queren,
10 wobei anhand der vorgegebenen geometrischen Fertigungsdaten des
Durchflußmeßgeräts (1) Information über den theoretischen Durchfluß des
Mediums durch das Meßrohr (2) gewonnen wird,
wobei die tatsächlichen geometrischen Meßdaten des Durchflußmeßgeräts (1)
dreidimensional ermittelt werden,
15 wobei anhand der tatsächlichen geometrischen Meßdaten Information über
den tatsächlichen Durchfluß des Mediums durch das Durchflußmeßgerät (1)
gewonnen wird, und
wobei anhand der Information hinsichtlich des theoretischen Durchflusses und
des tatsächlichen Durchflusses des Mediums durch das Durchflußmeßgerät
20 (1) ein Korrekturfaktor bzw. ein Kalibrierfaktor für das Durchflußmeßgerät (1)
ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei die tatsächlichen geometrischen Meßdaten durch eine
25 dreidimensionale Abtastung des Durchflußmeßgeräts (1) ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
wobei die Abtastung des Durchflußmeßgeräts (1) mittels elektromagnetischer
Wellen oder mittels eines mechanischen Abtastkopfes (16) durchgeführt wird.
30

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,

daß das Durchflußmeßgerät (1) bzw. das Meßrohr (2) durch ein mathematisches Modell nachgebildet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

5 wobei in dem mathematischen Modell die nachfolgend genannten Größen berücksichtigt werden:

- der Einstrahl- bzw. der Ausstrahlwinkel (W_1 ; W_2) zwischen Ultraschallsensor (3, 4; 5, 6) und dem Medium;
- der Abstand S_1 ; S_2 zwischen zwei Schallaustritts- bzw. zwei Schalleintritts-Flächen der Ultraschallsensoren (3, 4; 5, 6), die wechselweise senden und empfangen;
- der radiale Abstand H des Laufweges des Schallpfades der Ultraschall-Meßsignals von zwei Ultraschallwandern (3, 4; 5, 6) zur Mittelachse des Meßrohres (2);
- 15 - die Position der Sende- und Empfangsflächen der Ultraschallsensoren (3, 4; 5, 6) zum strömenden Medium oder zur Innenwand des Meßrohres (2);
- die Querschnittsfläche A des zwischen den zwei Ultraschallwandern (3, 4; 5, 6) liegenden und vom Medium durchströmten Abschnitts des Meßrohres (2).

6. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,

wobei die tatsächliche innere Querschnittsfläche des Meßrohres (2) dadurch ermittelt wird, daß die dreidimensionalen Koordinaten von mehreren in zumindest zwei parallelen und quer zur Strömungsrichtung (S) des Mediums liegenden Querschnittsebenen (9, 10) des Meßrohres liegenden Abtastpunkten ausgemessen werden.

7. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3 oder 5,

wobei die dreidimensionalen Koordinaten der Schallaustritts- bzw. Schalleintritts-Flächen der Ultraschallsensoren (3, 4; 5, 6) ermittelt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

wobei zwecks Bestimmung der dreidimensionalen Koordinaten der Mittelpunkte der entsprechenden Schallaustritts- bzw. Schalleintritts-Fläche von einem Ultraschallsensor (3, 4; 5, 6) ein Einrichtsensor (13, 15) verwendet wird, bei dem anstelle eines Ultraschallwandlers ein Kegel (14) mit definierter Form verwendet wird, der so ausgebildet ist, daß der Mittelpunkt einer Kugel (16) mit definiertem Durchmesser beim Berühren des Kegels (14) im Mittelpunkt der Schallaustritts- bzw. der Schalleintritts-Fläche des entsprechenden Ultraschallsensors (3, 4; 5, 6) liegt.

9. Einrichtsensor (13, 15) zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,

wobei anstelle des Ultraschallwandlers ein kegelförmiges Element (14) verwendet wird, das so dimensioniert ist, daß der Mittelpunkt einer Kugel (16), deren Durchmesser dem Durchmesser eines Abtastkopfs eines mechanischen Abtastgeräts entspricht, im Kontakt mit dem kegelförmigen Element (14) im Mittelpunkt der Schallaustritts- bzw. der Schalleintritts-Fläche des Ultraschallsensors (3, 4; 5, 6) liegt.

10. Einrichtsensor (13, 15) zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,

wobei anstelle des Ultraschallwandlers ein Retroreflektorelement vorgesehen ist, daß so ausgestaltet ist, daß auftreffende elektromagnetische Strahlung des entsprechend ausgestalteten Abtastgeräts in das Abtastgerät zurückreflektiert wird.

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trockenkalibrieren eines Ultraschall-Durchflußmeßgeräts 1, wobei anhand der vorgegebenen geometrischen Fertigungsdaten des Durchflußmeßgeräts (1) Information über den theoretischen Durchfluß des Mediums durch das Meßrohr (2) gewonnen wird, wobei die tatsächlichen geometrischen Meßdaten des Durchflußmeßgeräts (1) dreidimensional ermittelt werden, wobei anhand der tatsächlichen geometrischen Meßdaten Information über den tatsächlichen Durchfluß des Mediums durch das Durchflußmeßgerät (1) gewonnen wird, und wobei anhand der Information hinsichtlich des theoretischen Durchflusses und des tatsächlichen Durchflusses des Mediums durch das Durchflußmeßgerät (1) ein Korrekturfaktor bzw. ein Kalibrierfaktor für das Durchflußmeßgerät (1) ermittelt wird.

(Fig. 1)

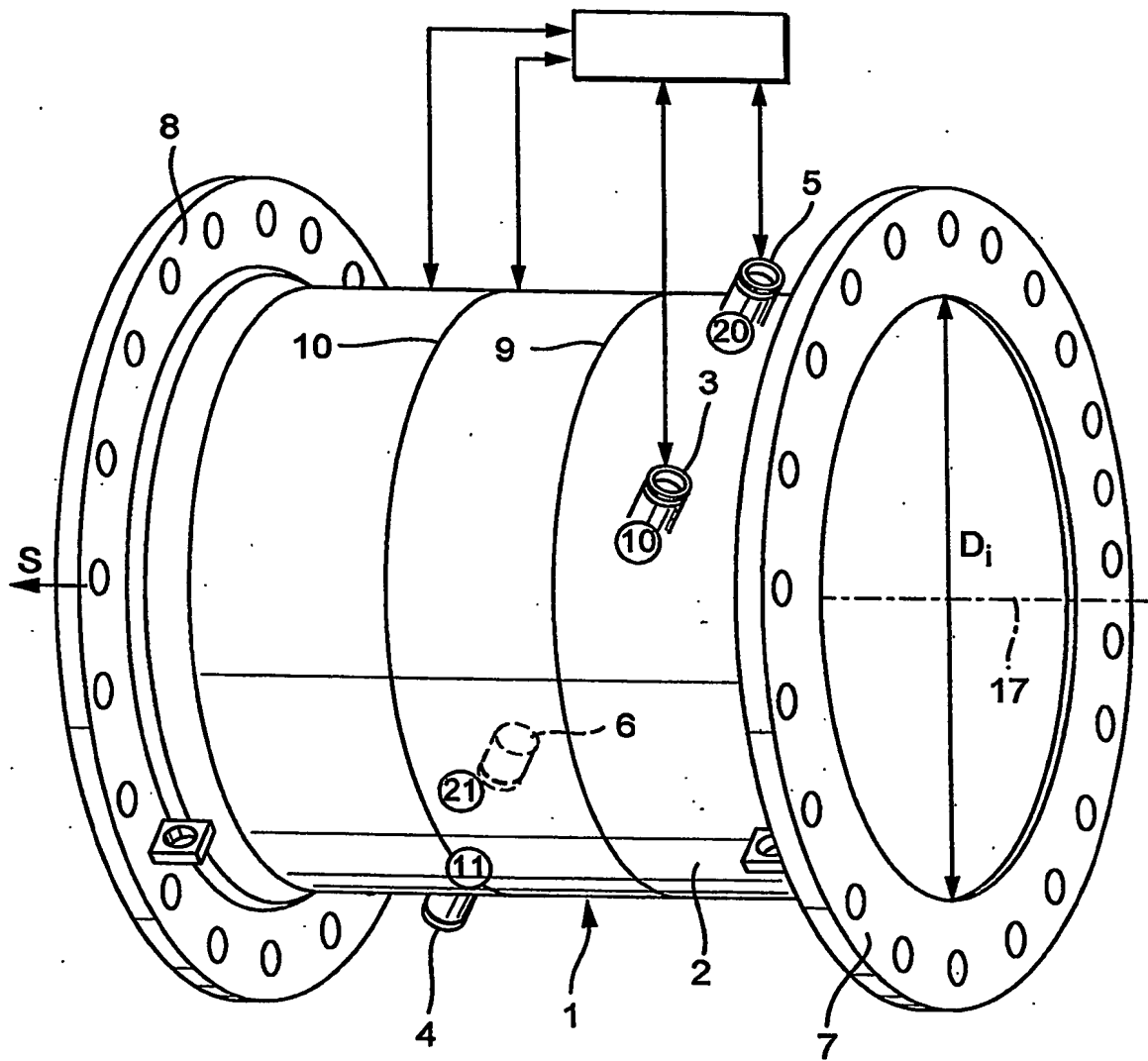


Fig. 1

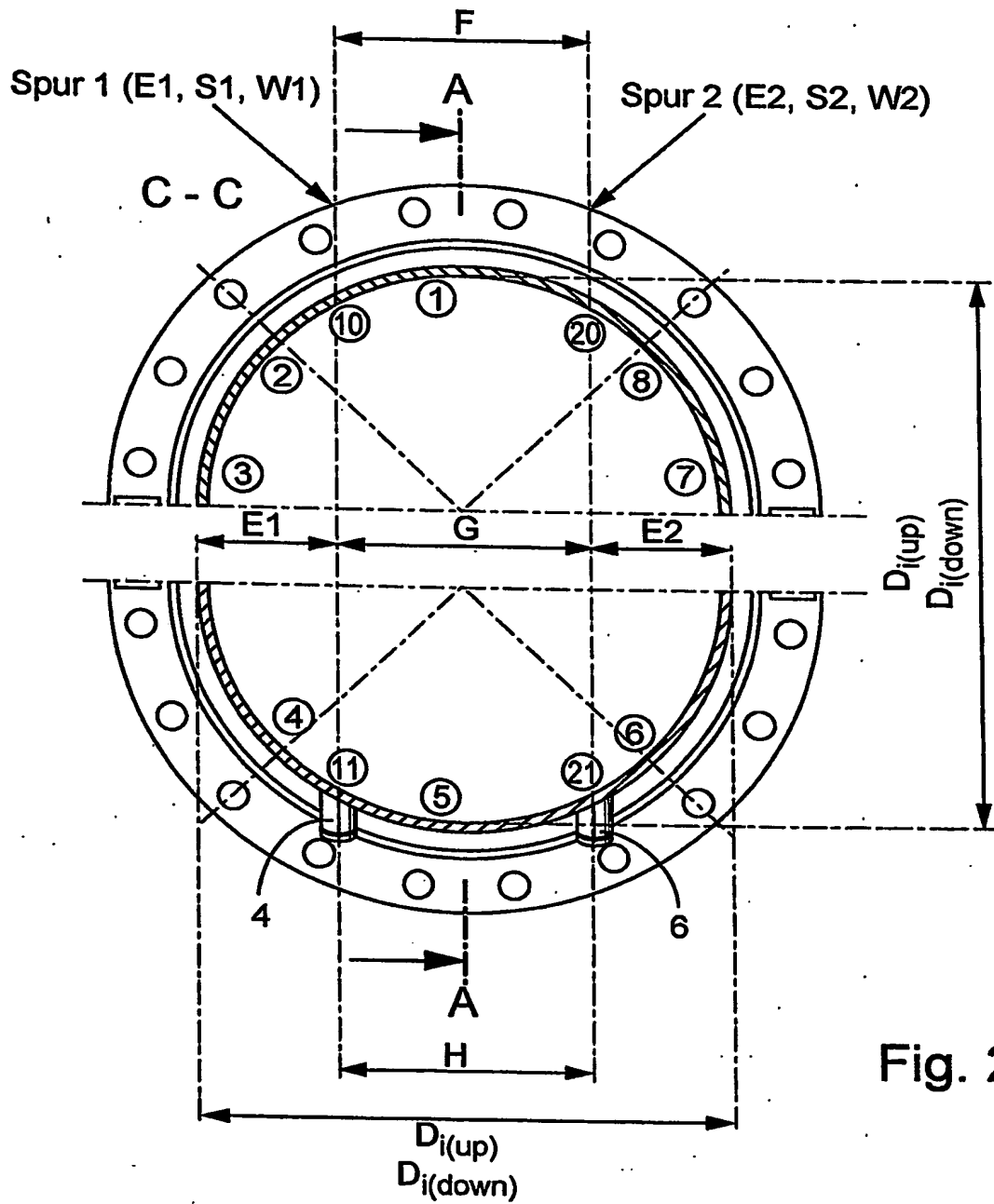


Fig. 2

A-A

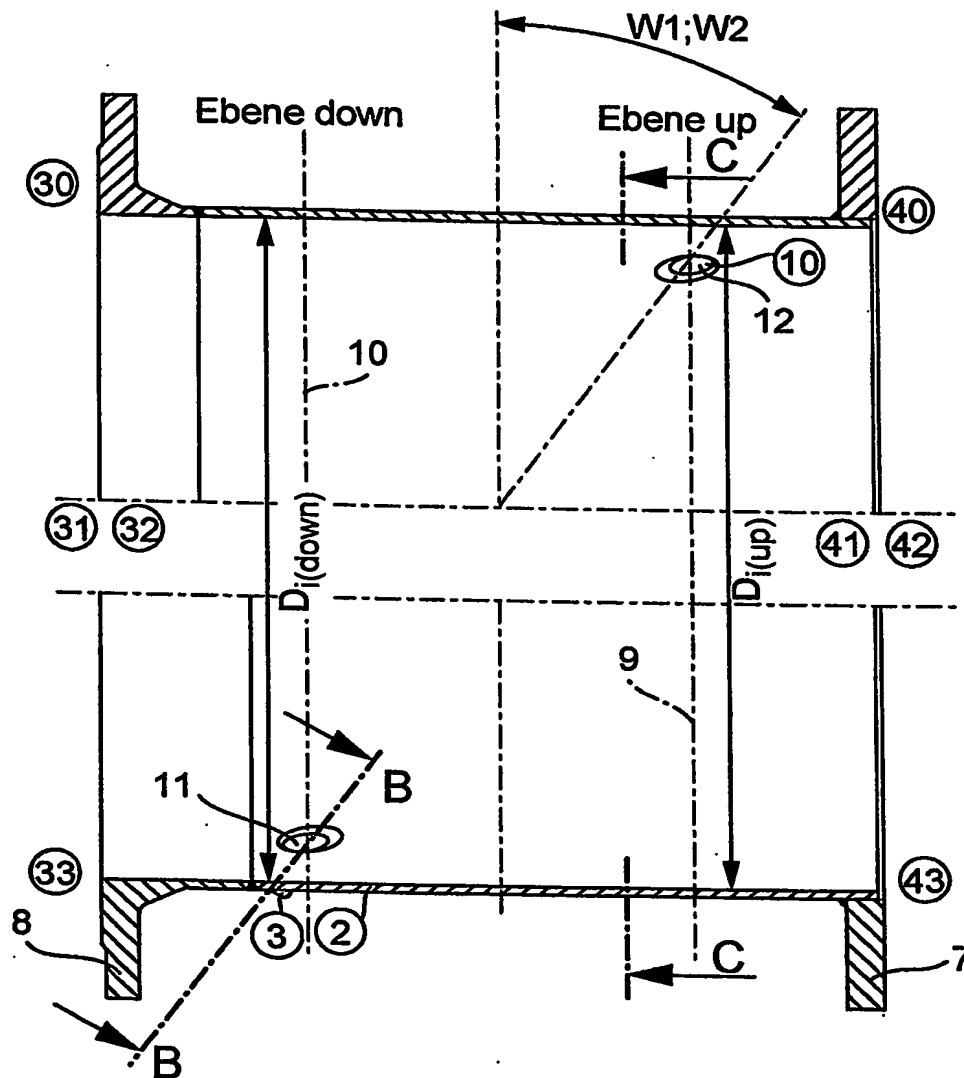


Fig. 3

4/4

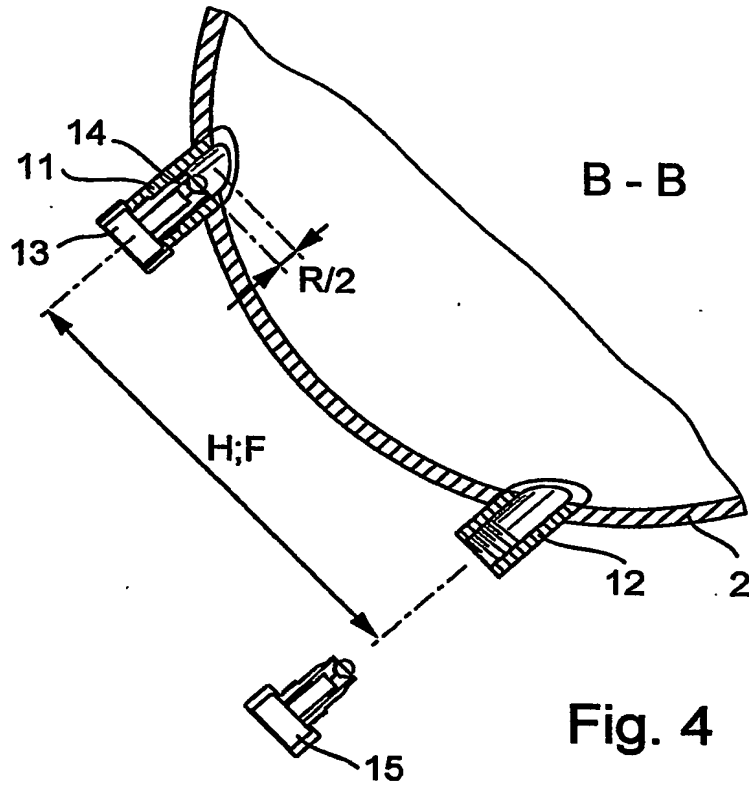


Fig. 4

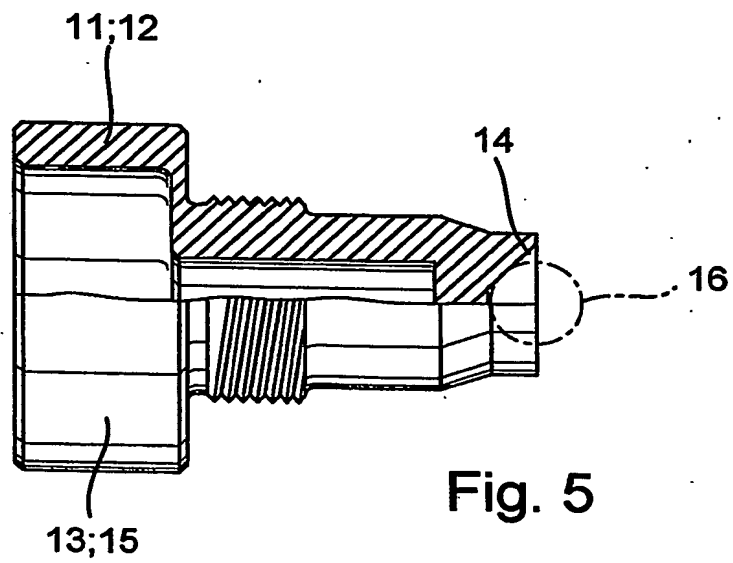


Fig. 5

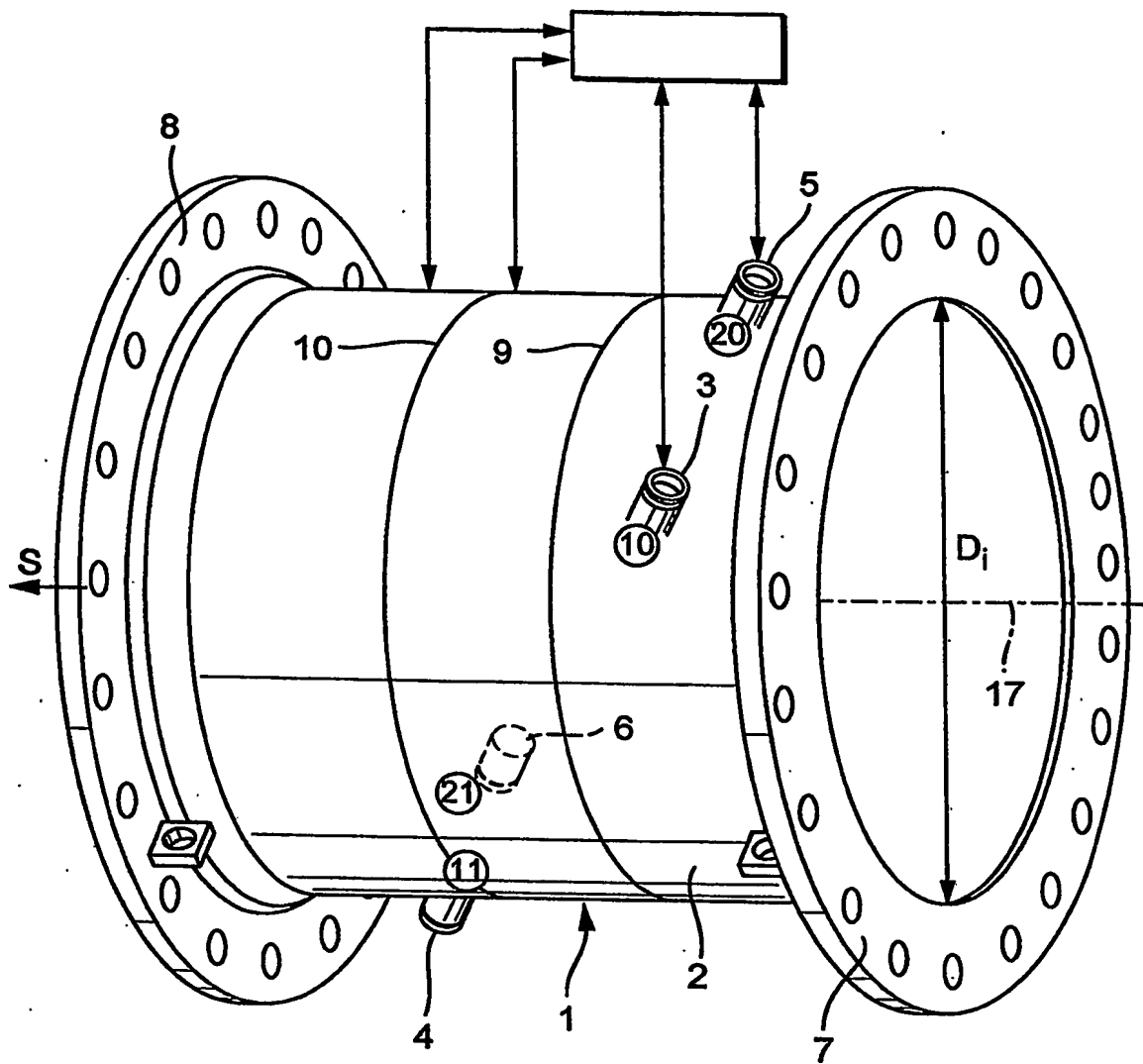


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.